

УДК 629.113

**В.В. ЄПІФАНОВ**, канд. техн. наук, **В.К. БЄЛОВ**, канд. техн. наук,  
**Є.О. ВЕРЕТЕННИКОВ**, магістрант, НТУ «ХПІ» (м. Харків)

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СТАНДАРТНИМИ МЕТОДАМИ МАШИН, ЩО ПЛАВАЮТЬ

Проведена оцінка можливості модернізації плаваючих машин стандартними методами (увеличення діаметра робочого колеса водометного двигачеля) на прикладі бронетранспортера БТР-3Е. Визначено максимальну швидкість машини на плаву. Визначено розрахунок для визначення часу і відповідного шляху розгону машини до максимальної швидкості.

The estimation of possibility upgradeability floating machine's upgradeability by standard methods is carried out. The method is shown by the example of BTR – 3E troop-carrier and includes increasing the driving wheel's diameter of the floating machine. The highest speed of the machine's afloat is calculated. Calculations The calculations for determination the time and the proper machine's way of acceleration up to the highest speed are also offered.

У сучасних бойових умовах легким бронюванням машинам відводиться одна з головних ролей. Для підвищення рухомості військ необхідно, щоб бойова машина мала можливість долати перешкоди, у тому числі й водні.

На даний час існують різні водохідні рушії: сухопутний рушії, гребний гвинт та водомет. Саме водомет має найбільший коефіцієнт корисної дії, надає машині необхідної маневреності. Також водомет захищений від ушкоджень сторонніми предметами. Але він має також свої недоліки: встановлення водомету зменшує запас плавучості машини та дещо ускладнює конструкцію, також можливе забруднення вхідних решіток [1].

На даному етапі розвитку бойових машин постійно підвищуються вимоги, що стосуються швидкості руху машини, у тому числі й на воді. Розміри водомету залежать від компонування моторно-трансмісійного відділення, оскільки водомет встановлюється між двигуном та днищем машини, то ж значне збільшення габаритів водомету неможливе без повної зміни компонування машини.

На даний час у сухопутних військах багатьох країн залишаються на озброєнні машини, що плавають, які були спроектовані декілька десятиліть тому. Також багато сучасних машин випускаються на базі раніше розробленої техніки (водохідні рушії в них не змінюються). Ця техніка була спроектована відповідно до вимог минулих років.

Викладене вище дозволяє поставити проблему перевірки ефективності удосконалення традиційними методами існуючої техніки з метою приведення її у відповідність сучасним вимогам.

Розглянемо це на прикладі бронетранспортера БТР-3Є [2]. На цій машині використаний водомет з розмірами:

$D_{\text{вих}} = 0,319 \text{ м}$  – зовнішній діаметр вихідного отвору;  $d_{\text{вих}} = 0,085 \text{ м}$  – внутрішній діаметр вихідного отвору;  $D = 0,420 \text{ м}$  – діаметр робочого колеса.

Збільшило діаметр робочого колеса водомета на 0,03 м.

При цьому сила опору рухові машини на тих самих швидкостях не зазнає змін. Ця сила визначена за методикою А.П. Степанова для колісних машин [3].

Сумарна сила опору рухові машини на плаву визначається за формулою:

$$R = (x_m + \Delta x_m + x_{\phi} + x_g) 0,5 r V^2 S, \quad (1)$$

де  $r = 1000 \text{ кг/м}^3$  – щільність води;  $S = 61 \text{ м}^2$  – площа поверхні, що змочена;  $V$  – швидкість плаву машини;  $x_m$  – коефіцієнт сили опору тертя, який залежить від числа Рейнольдса ( $Re$ ) та визначається

$$x_m = 0,455 (\lg Re)^{-2,58},$$

причому  $Re = \frac{VL}{n}$ ;

$L = 7,65 \text{ м}$  – довжина корпусу машини за ватерлінією;  $n = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$  – кінематична в'язкість води;  $\Delta x_m = 0,0003$  – постійний коефіцієнт, що враховує тертя на зварювальних швах, нерівномірність фарбування і т. інш.;  $x_{\phi} = 0,035$  – коефіцієнт опору форми, який є незмінним;  $x_g$  – коефіцієнт хвильового опору, який визначається за формулою  $x_g = 0,075 Fr - 0,015$ ;

причому  $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$  – число Фруда;  $g$  – прискорення вільного падіння.

Також незмінною залишається приєднана маса води, яка визначається за формулою [3]:

$$m_g = I_{\kappa} + I_{x\chi}, \quad (2)$$

де  $I_{\kappa}$  – при'єднана маса корпусу;  $I_{x\chi}$  – при'єднана маса елементів ходової частини.

$$I_{\kappa} = 2m_x mprb^2 d,$$

де  $m_x$  – коефіцієнт, що залежить від  $(l/b)$ ;  $m$  – коефіцієнт, що залежить від  $(d/b)$ ;  $l, b, d$  – половина відповідно довжини, ширини та висоти частини корпусу, зануреної у воду.

$$I_{x\chi} = 2m_{x\chi} m_{x\chi} prb_{x\chi}^2 d_{x\chi},$$

де  $m_{xxч}$  – коефіцієнт, що залежить від  $(l_{xч}/b_{xч})$ ;  $m_{xч}$  – коефіцієнт, що залежить від  $(d_{xч}/b_{xч})$ ;  $l_{xч}, b_{xч}, d_{xч}$  – половина відповідно довжини, ширини та висоти ходової частини, зануреної у воду.

Для машини, що розглядається це дорівнює  $l = 3,925$  м,  $b = 1,45$  м,  $d = 0,708$  м,  $m_x = 1,8$ ,  $m = 0,31$ ,  $l_{xч} = 2,766$  м,  $b_{xч} = 0,37$  м,  $d_{xч} = 0,2375$  м,  $m_{xxч} = 2,1$ ,  $m_{xч} = 0,31$ .

Отже, загальна при'єднана маса води, розрахована за формулою (2), дорівнює  $m_g = 7534$  кг.

При зміні діаметру робочого колеса зазнає змін сила тяги водометного рушія, яка може бути описана рівнянням [4]:

$$P = Qr \left( \frac{Q}{F_{вых}} - V \right), \quad (3)$$

де  $F_{вых}$  – площа вихідного отвору водомета;  $Q$  – продуктивність насоса водомета.

Площа вихідного отвору водомета визначається так:

$$F_{вых} = p \frac{D_{вых}^2 - d_{вых}^2}{4}, \text{ і дорівнює } F_{вых} = 0,074 \text{ м}^2.$$

Продуктивність насоса водомета визначається [3]:

$$Q = \left[ 0,07 \frac{p}{4} (1 - d^2) \right]^{\frac{3}{2}} n D^3,$$

де  $D = 0,450$  м – діаметр робочого колеса;  $d = 0,341$  – втулочне відношення робочого колеса;  $n = n_{ов}/i_{прив}$  – частота обертання робочого колеса, де  $n_{ов} = 1800...2400$  об/хв – частота обертання колінчастого вала двигуна;  $i_{прив} = 2,016$  – передавальне відношення приводу від двигуна до валу робочого колеса.

Результати розрахунків сили тяги водометного рушія та сумарної сили опору рухові машини для діаметру робочого колеса  $D = 0,450$  м за частот обертання двигуна 1800, 2000, 2200 та 2400 об/хв представлені на малюнку 1. Перетин прямих сили тяги водомету з кривою сили опору руху машини визначає найбільшу швидкість машини на плаву за даних обертів двигуна.

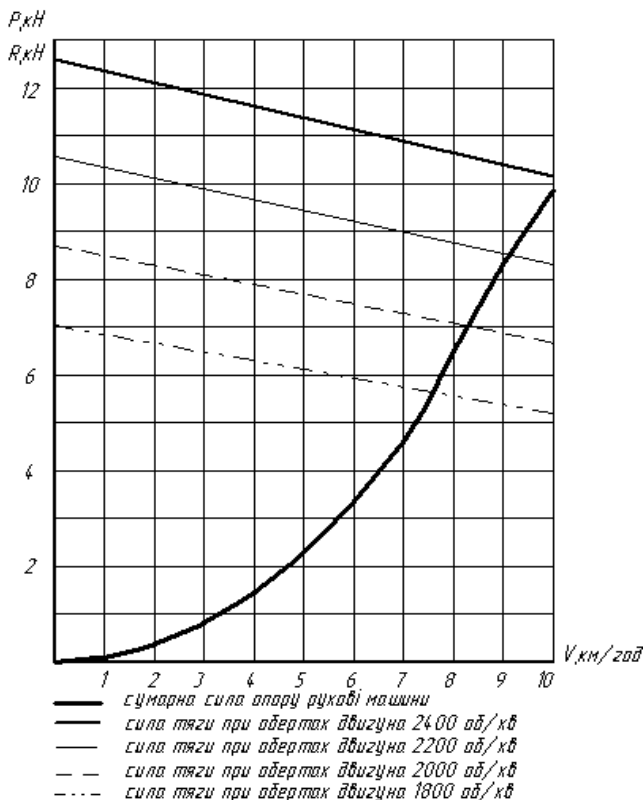


Рисунок 1 – Сумарна сила тяги водометного рушія та сила опору рухові машини

Максимальна теоретична швидкість машини на плаву визначається виходячи з умови:

$$R = P.$$

З урахуванням співвідношень (1) та (3) вона може бути знайдена з рівняння

$$(x_m + \Delta x_m + x_\phi + x_e) 0,5 r V^2 S = Q r \left( \frac{Q}{F_{\text{вых}}} - V \right)$$

і становить  $V_{T \max} = 10,43 \text{ км/год.}$

Для побудування розгінних характеристик машини розглянемо диференціальне рівняння руху машини на плаву, яке має вигляд [5]:

$$\frac{dV}{dt} (m + m_e) = P - R \text{ або}$$

$$dt = \frac{dV(m + m_e)}{P - R} \quad (4)$$

де  $m$  – маса машини, яка для машини-прототипу дорівнює 16000 кг.

Запишемо це рівняння в кінцевих припущеннях часу  $\Delta t$  та швидкості  $\Delta V$

$$\Delta t = \frac{\Delta V(m + m_e)}{P - R}.$$

Для побудування розгінних характеристик проведемо розрахунки за рівнянням (4).

Знаходимо припущення шляху  $\Delta S$ :

$$\Delta S = \Delta t V_{cp}, \text{ де } V_{cp} = \frac{V_n + V_{n+1}}{2},$$

причому  $V_n$  – швидкість машини наприкінці попереднього та на початку поточного інтервалу;  $V_{n+1}$  – швидкість машини наприкінці поточного інтервалу.

Залежності часу та шляху розгону від швидкості зі стандартним та збільшеним водометами зображені на малюнках 2 та 3 відповідно.

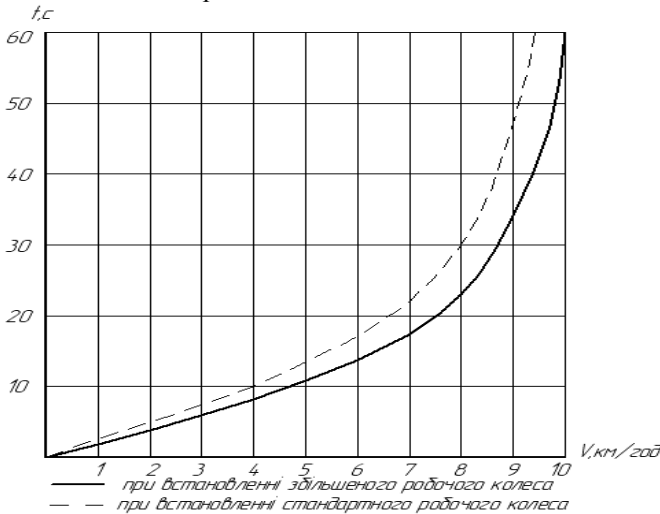


Рисунок 2 – Час розгону машини

Виходячи з отриманих результатів, можна зробити висновок, щодо можливості покращення показників динаміки машини на плаву стандартними методами. За умови збільшення діаметру робочого колеса на 7% запас плавучості знижується менш ніж на 1%. Максимальна швидкість машини збільшується з 9 км/год до 10,43 км/год (на 16%). Час розгону до швидкості 9

км/год зменшується з 47с до 34 с (у 1,38 рази), а відповідний шлях зменшується з 78 до 50 м (у 1,56 рази).

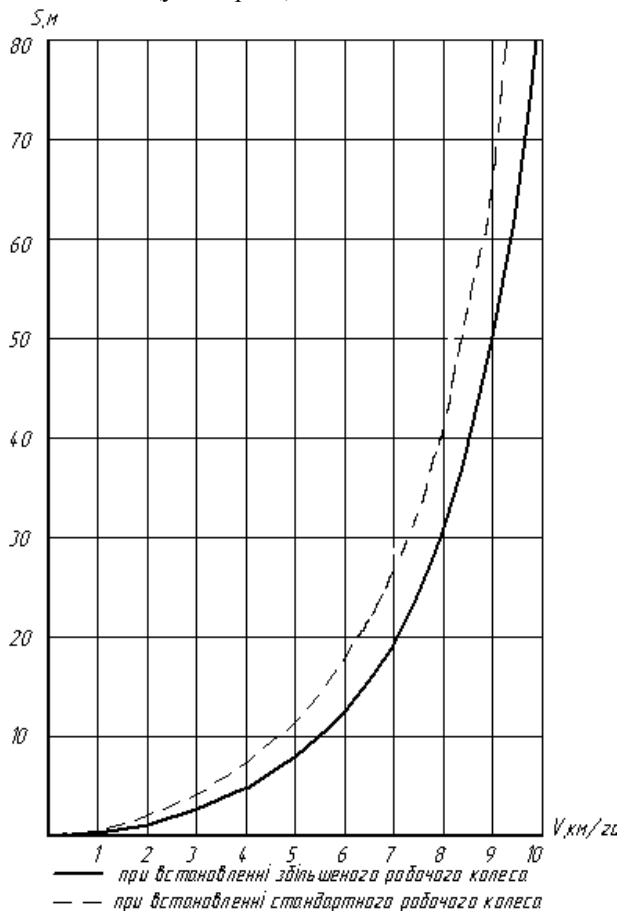


Рисунок 3 – Шлях розгону машини

**Список літератури:** 1. Белов В.К., Тимченко А.Ю. Оценка водоходных качеств транспортера-тягача МТ-ЛБ с различными типами водоходных движителей//Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – Вып. 46. – С. 34 – 39. 2. Харьковское конструкторское бюро по машиностроению имени А.А. Морозова/Под общ. ред. М.Д. Борисюка. – Харьков, - 2007. – 188с. 3. Степанов А.П. Конструирование и расчет плавающих машин. – М.: Машиностроение, 1983. – 200с. 4. Бугаев С.В. Гидродинамика плавающей машины. – Одесса, 2007. – 294с. 5. Белов В.К. Расчет разгонных характеристик плавающей машины // Вестник ХПИ. – 1985. – №222. – С. 57-59.

Надійшла до редколегії 15.05.2009